

Kontrol Tegangan pada Sistem Hybrid Panel Surya-Turbin Angin Menggunakan Manajemen Penyimpanan Baterai

Soedibyo, Rezi Delfianti, Feby Agung Pamuji, dan Mochamad Ashari

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Kampus ITS, Sukolio, Jl. Raya ITS, Keputih, Surabaya, Kota Surabaya, Jawa Timur 60117

e-mail: soedibyo@elect-eng.its.ac.id

Abstrak—Tujuan dari makalah ini adalah untuk menentukan kontrol strategi pada sistem energi terbarukan tenaga *hybrid* panel surya dan turbin angin dalam memaksimalkan kesetimbangan tegangan. Strategi kontrol tegangan sangat perlu dirancang terutama saat terjadinya perubahan beban yang berbeda-beda, jika tidak dilakukan maka akan berpengaruh kepada kesetimbangan daya yang diberikan ke beban dan biasa mengakibatkan rusaknya peralatan yang digunakan. Sumber energi matahari dan angin memberikan pengaruh yang besar terhadap kestabilan kualitas dari tegangan yang diberikan karena sifat energi terbarukan ini yang bersifat fluktuatif. Makalah ini mengusulkan kontrol strategi penggunaan PI dan perangkat pengkondisian sinyal yang di modifikasi menggunakan pemodelan *charging* dan *discharging* baterai dengan tetap mempertimbangkan *lifetime* baterai menggunakan *software* PSIM sehingga didapatkan hasil optimal tegangan dari sistem *hybrid* panel surya dan turbin angin. Baterai akan digunakan sebagai penyimpanan energi saat daya keluaran *hybrid* berlebih yang kemudian akan digunakan kembali saat daya keluaran *hybrid* kurang dari kebutuhan beban. Perangkat pengkondisian sinyal pada penelitian ini menggunakan lima buah *converter* daya yaitu satu buah AC to DC *converter*, dua buah DC-DC *boost converter*, satu buah *bidirectional converter*, satu buah DC-AC *bidirectional converter*. Daya keluaran maksimum menggunakan MPPT yang diaplikasikan pada *boost converter*, sedangkan untuk mengatur tegangan melalui *charging* dan *discharging* baterai melalui *bidirectional buck-boost converter*. Strategi tersebut memberikan tegangan yang sesuai di sisi AC.

Kata kunci: tegangan, panel surya-turbin angin, pi modifikasi, charging-discharging

Abstract—The purpose of this paper is to determine the control strategy of the renewable energy systems of hybrid solar panel power and wind turbines in maximizing voltage balance. The voltage control strategy needs to be designed, mainly when different load changes occur. If it is not done, it will affect the balance of power supplied to the load and usually damage the equipment used. Solar and wind energy sources significantly influence the stability of the applied voltage's quality due to the fluctuating nature of renewable energy. This paper proposes control strategies for the use of PIs and the signal conditioning devices that are modified using the battery charging and discharging modeling while taking into account battery lifetime using PSIM software so that optimal voltage results from hybrid solar panel and wind turbine systems are obtained. The battery will be used as energy storage when the hybrid output power is over, which will then be used again when the hybrid output power is less than the load requirement. The signal conditioning device in this study uses five power converters, one AC to DC converter, two DC-DC boost converters, one bidirectional converter, 1 DC-AC bidirectional converter. Maximum output power uses MPPT, which is applied to the boost converter, whereas to regulate the voltage through charging and discharging the battery through the bidirectional buck-boost converter. This strategy provides the appropriate voltage on the AC side.

Keywords: voltage, solar panel, wind turbines, pi modified, charging-discharging

Copyright © 2020 Jurnal Rekayasa Elektrika. All right reserved

I. PENDAHULUAN

Pemanfaatan energi terbarukan menjadi semakin penting dari sudut pandang konservasi lingkungan ditambah lagi dengan menipisnya bahan bakar fosil. Instalasi pembangkit listrik tenaga angin dan tenaga surya semakin banyak digunakan dalam beberapa aplikasi *off grid* dikarenakan banyaknya daerah yang sulit dijangkau oleh jaringan grid sehingga sistem *off grid* merupakan

solusi yang ditawarkan.

Energi yang dihasilkan oleh tenaga surya dan angin memiliki kekurangan, tenaga matahari dan angin sangat bergantung pada iklim. Misalnya tidak mungkin kita mengandalkan teknologi sel surya sebagai sumber energi tiap waktu dalam kondisi cahaya yang berbeda ditambah lagi perilaku perubahan beban konsumen yang berubah-ubah

Mengatasi masalah ini, penggunaan energi yang

berbeda telah diusulkan [1]. Peneliti mengusulkan teknik penggunaan dua jenis sumber energi yang berbeda sehingga dapat saling melengkapi. Sistem energi *hybrid* dengan kontrol yang tepat memiliki potensi besar dalam memberikan kesetimbangan daya. Namun, masalah utama dalam menggunakan sumber energi surya adalah mengatasi karakteristik keluaran daya energi surya yang fluktuatif yang disebabkan oleh bervariasinya suhu dan radiasi dari matahari.

Tujuan dari makalah ini adalah untuk mengusulkan pengoptimalan daya sistem *hybrid* energi surya dan turbin angin yang akan digunakan dengan baterai dan perangkat pengkondisian sinyal saat terjadinya perubahan beban. Baterai akan digunakan sebagai penyimpanan energi saat daya keluaran *hybrid* berlebih yang kemudian akan digunakan kembali pada saat daya keluaran *hybrid* kurang dari kebutuhan beban. Perangkat pengkondisian sinyal pada penelitian ini menggunakan lima buah *converter* daya yaitu satu buah AC to DC *converter*, dua buah DC-DC *boost converter*, satu *bidirectional converter*, satu DC-AC *bidirectional buck boost converter*. Untuk mendapatkan daya keluaran maksimum energi surya menggunakan metode MPPT yang diaplikasikan pada *boost converter*, sedangkan untuk mengatur tegangan DC bus melalui pengaturan *charging-discharging* baterai melalui *bidirectional buck-boost converter*.

Baterai memiliki dua parameter yang tidak boleh diabaikan agar baterai dapat mencapai *lifetime* yang diharapkan, yaitu tegangan (maksimum tegangan saat *charging* dan minimum tegangan saat *discharging*) dan arus (besar arus saat *charging*) [2], [3]. Adanya batasan tersebut dan sistem PV yang menggunakan MPPT, maka akan muncul keadaan dimana baterai tidak mampu lagi untuk menambah kapasitas penyimpanan atau membahayakan bagian *lifetime* baterai bila menampung besarnya arus *charging*.

Pada sistem ini, kelebihan daya yang dihasilkan akan berakibat pada naiknya tegangan DC bus. Keadaan ini akan membahayakan komponen atau peralatan pada sisi beban dan perangkat pengkondisian sinyal. Oleh sebab itu, menerapkan dua mode pada *boost converter* yaitu MPPT dan *control DC bus* sangat dibutuhkan untuk menjaga kestabilan dari tegangan.

II. STUDI PUSTAKA

A. Baterai

Apabila beban memiliki karakteristik yang berbeda dengan daya *hybrid* yang dihasilkan, maka diperlukan komponen penyimpanan energi guna menyimpan energi saat sistem kelebihan daya dan mensuplai daya saat sistem kekurangan daya. Ada banyak jenis baterai yang sering digunakan untuk aplikasi energi terbarukan seperti: Lead Acid, Ni-Cd, Ni-MH, Lion, dan Li-Polymer, tetapi baterai yang memiliki karakteristik terbaik untuk aplikasi energi terbarukan dan dapat digunakan untuk skala kecil sampai besar adalah baterai Li-ion [4], [5].

Pemodelan baterai dapat dimodelkan menjadi pemodelan eksperimental. Pada penelitian ini pemodelan menggunakan rangkaian ekuivalen yang mengacu pada pemodelan *Sherperd* seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Besarnya V_{Batt} (*Battery Terminal Voltage*) bergantung dari besarnya OCV (*Open Circuit Voltage*), arus baterai (I_{Batt}), dan implementasi internal baterai. Persamaan untuk tegangan terkontrol ditunjukkan oleh (1).

$$OCV = E_0 - K \frac{Q}{Q - \int i_B dt} + A \exp(-B \int i_B dt). \quad (1)$$

E_0 adalah tegangan konstan battery (V), K tegangan Polaritasi (V), Q kapasitas battery (Ah), A amplitudo daerah eksponensial (V), dan B konstanta waktu invers daerah eksponensial (Ah^{-1}).

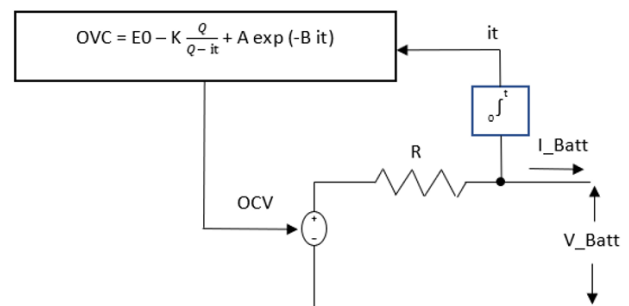
Gambar 2. Merupakan karakteristik *discharge* adalah karakteristik pada saat baterai mengalami *discharging*. Parameter untuk persamaan 1 dapat dicari dalam tiga daerah kurva, yaitu daerah *full charge*, daerah eksponensial, dan daerah nominal. Konstanta A , B , dan K berturut-turut ditunjukkan oleh (2), (3), dan (4).

$$A = E_{full} E_{exp}, \quad (2)$$

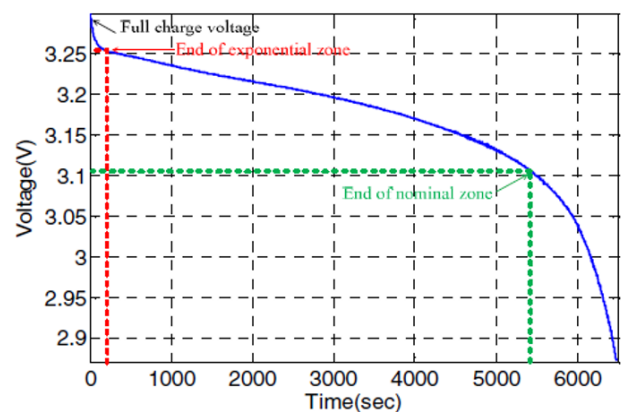
$$B = \frac{3}{Q_{exp}}, \quad (3)$$

$$K = E_0 - K + A \left(\exp(-B Q_{nom}) - 1 \right) \left[\frac{Q - Q_{nom}}{Q_{nom}} \right], \quad (4)$$

E_{full} tegangan baterai saat terisi penuh, sedangkan E_{nom} adalah tegangan baterai saat kondisi eksponensial [7].



Gambar 1. Rangkaian pengganti baterai [5]



Gambar 2. Karakteristik *discharging* baterai Li-ion [6]

B. Strategi Manajemen energi

Sistem yang digunakan untuk meyuplai beban seperti pada Gambar 4. dan memiliki persamaan seperti (5). Namun dengan penambahan peralatan penyimpanan energi maka persamaan akan berubah menjadi (6) pada saat P_{Gen} lebih dari P_{Load} dan (7) pada P_{Gen} kurang dari P_{Load} [8].

$$P_{pv} = P_{load}, \quad (5)$$

$$P_{pv} = P_{load} + P_{Batt}, \quad (6)$$

$$P_{pv} = P_{load} - P_{Batt}, \quad (7)$$

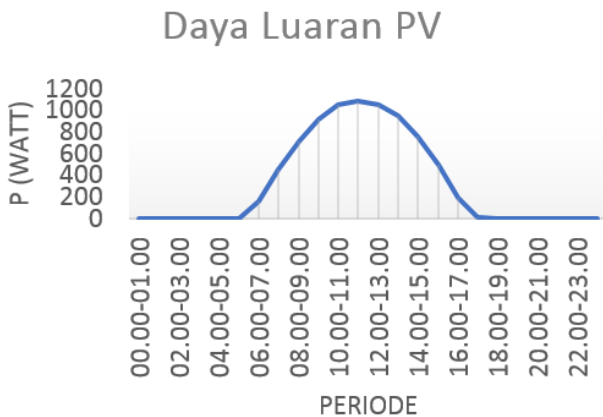
Persamaan (5), (6), dan (7) memiliki *constraint* yaitu tidak mempertimbangkan adanya *losses* pada *converter* yang digunakan dan efisiensi pada P_{Gen} dan baterai diasumsikan memiliki nilai 100%. Apabila mempertimbangkan *losses* dari *converter* yang digunakan dan adanya *derating factor* pada P_{Gen} dan baterai, maka (6) berubah menjadi (8) pada saat P_{Gen} lebih dari P_{Load} dan (7) berubah menjadi (9) pada saat P_{Gen} kurang dari P_{Load} [1].

$$\eta_{pv} f_{pv} P_{pv} = P_{load} + \eta_{Bidirectional} \eta_{Batt} P_{Batt}, \quad (8)$$

$$\eta_{pv} f_{pv} P_{pv} = P_{load} - \eta_{Bidirectional} \eta_{Batt} P_{Batt}. \quad (9)$$

Daya luaran sel surya akan berbeda pada setiap wilayah karena di setiap wilayah terdapat perbedaan radiasi matahari. Pada daerah yang sama juga memungkinkan terjadi perbedaan radiasi matahari dengan perbedaan sudut pemasangan sel surya [9], [10].

Pada penulisan ini, kurva karakteristik seperti ditunjukan Gambar 3. didapat dengan melakukan sampling data setiap 15 menit, kemudian disajikan dalam daya rata-rata selama satu jam. Daya luaran rata-rata maksimum panel surya terjadi antara jam 12.00 sampai 13.00. Data pengukuran daya maksimum yang dibangkitkan panel surya memiliki nilai maksimum sebesar 0,864 dari *rating* maksimum panel surya yang terpasang. Pengukuran daya luaran panel surya dilakukan setelah *converter*, sehingga nilai yang didapat sudah dikalikan dengan efisiensi *boost*



Gambar 3. Kurva karakteristik sel surya musim panas

converter dan *rating* panel surya.

III. METODE

A. Desain Boost Converter

Gambar 5 menunjukkan rangkaian pengganti *Boost Converter*.

$$V_{pv} = L \frac{di}{dt}, \quad (10)$$

$$L \ddot{A}I = V_{pv} t_{on} \quad (11)$$

$$V_{pv} + L \frac{\Delta I}{t_{off}} = V_{dc bus}. \quad (12)$$

Apabila (11) disubstitusikan dengan (12) maka akan menjadi:

$$V_{pv} = -V_{pv} \frac{t_{on}}{t_{off}} + V_{dc bus}, \quad (13)$$

$$V_{dc bus} = V_{pv} \left(1 + \frac{t_{on}}{t_{off}} \right). \quad (14)$$

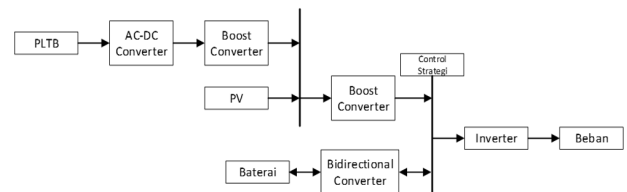
Apabila t_{on} adalah *Duty Cycle* (D) dikalikan periode (T) dan t_{off} adalah $(1-D)*T$, maka akan menjadi (15).

$$V_{dc bus} = V_{pv} \left(\frac{1}{1-D} \right). \quad (15)$$

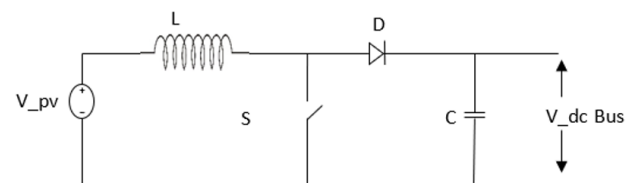
B. Desain Bidirectional Converter

Seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 4, baterai akan terhubung dengan sistem melalui *bidirectional converter*. Rangkaian *bidirectional converter* ditunjukkan pada Gambar 6.

Mode *discharging* baterai, *Converter* akan beroperasi sebagai *boost converter* dengan memberikan D tertentu pada saklar semikonduktor 1 (S1) dan membuat Saklar semikonduktor 2 (S2) tidak bekerja (*off*) sehingga memiliki fungsi yang sama seperti dioda. Mode *discharging*



Gambar 4. Diagram blok sistem secara keseluruhan



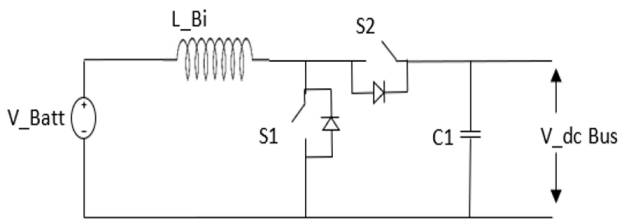
Gambar 5. Rangkaian pengganti *boost converter*

bidirectional converter ditunjukkan pada Gambar 7. Aliran arus pada mode ini adalah dari V_{Batt} menuju V_{dc} Bus.

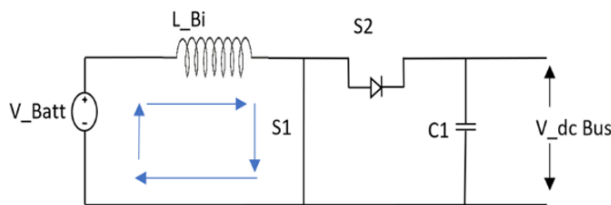
C. MPPT dan Control DC Bus

1. Metode MPPT

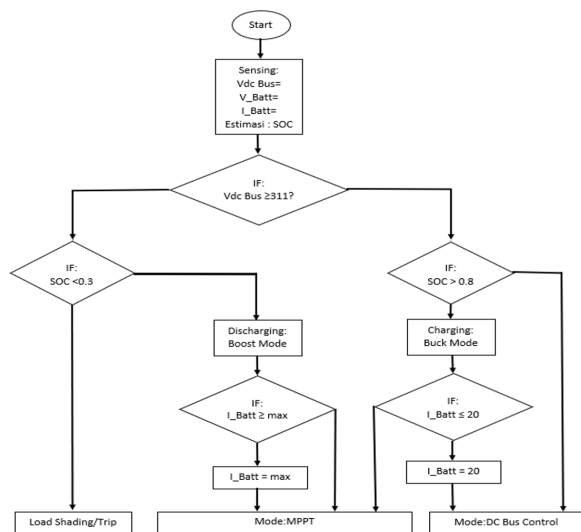
Metode MPPT akan dilakukan pada dua kemungkinan keadaan. Kemungkinan yang pertama yaitu saat P_{load} lebih dari P_{Gen} . Pada keadaan ini P_{load} akan disuplai dari P_{Gen} ditambah $P_{Baterai}$. Keadaan berikutnya adalah saat P_{Gen} lebih dari P_{Load} sehingga kelebihan daya akan ditransfer ke baterai dengan syarat besarnya $I_{Charging}$ kurang dari $I_{Chargingmax}$.



Gambar 6. Rangkaian *bidirectional converter*



Gambar 7. Mode discharging *bidirectional converter*



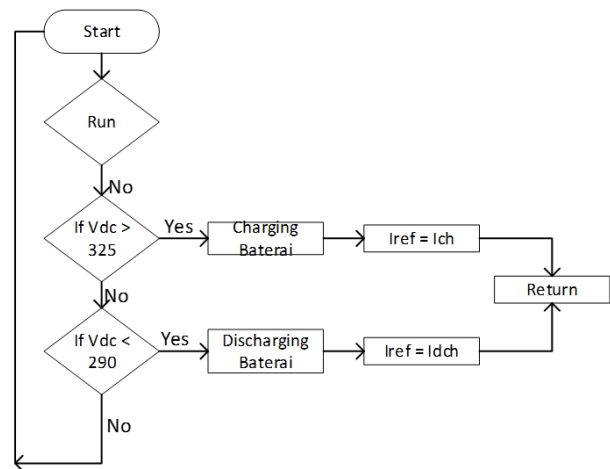
Gambar 8. Flowchart metode kontrol strategi

2. Metode Control DC Bus

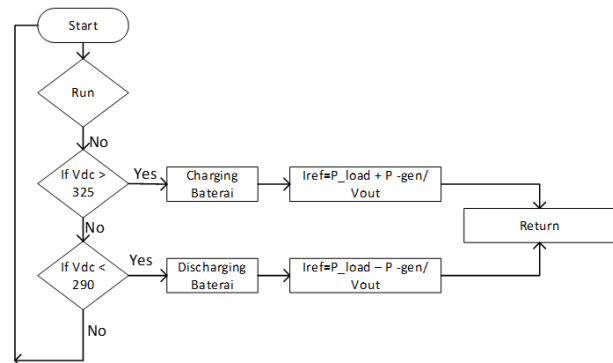
Metode kontrol DC Bus dijalankan agar sistem tidak membangkitkan 100% dari potensi energi yang dimiliki. Hal ini dilakukan untuk menstabilkan tegangan, dengan tetap mempertimbangkan kesehatan dari baterai.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Modul panel surya yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan oleh Tabel 1. Modul terdiri dari 72 Cell PV dengan daya maksimum 1260 W pada radiasi 600 W/m² pada V_{mpp} 52,49 V dan I_{mpp} 24,01 A. Modul yang digunakan pada penelitian ini menggunakan *solar module* (physical mode). Kecepatan angin 12 m/s.

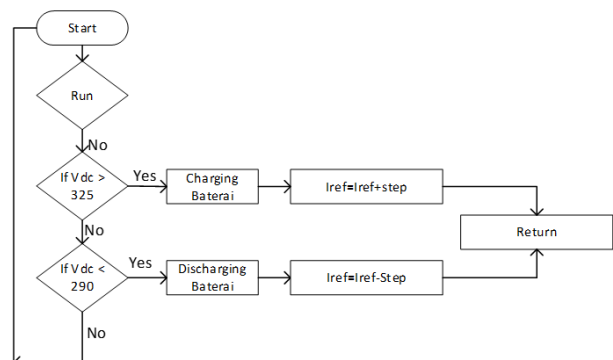


(a)



(b)

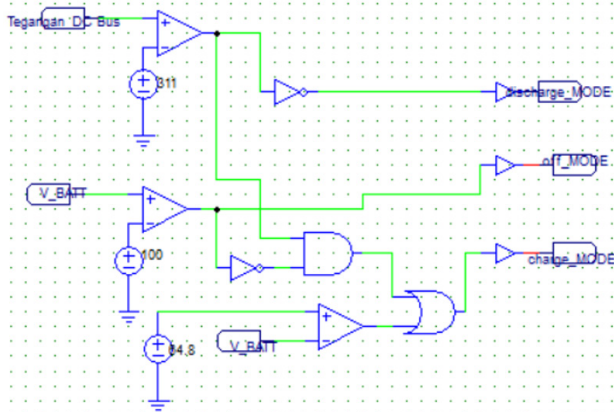
Gambar 9. (a) Flowchart uncontrolled; (b) Flowchart PI



Gambar 10. Flowchart PI modifikasi

Sementara *boost converter* akan didesain mendekati daya maksimum PV sebesar 1250 W. Dengan mengatur frekuensi *switching* pada nilai 50kHz dan tegangan referensi pada nilai 311 V, maka menggunakan Persamaan 15 *duty cycle* berkisar pada nilai 0,83 sehingga t_{on} adalah $16,6 \times 10^{-6}$. Apabila menginginkan nilai ΔI sebesar 0,1 A, mengacu pada (13) nilai L minimal adalah 8,72 mH. Dengan tidak adanya suatu induktor murni, maka pemilihan nilai L yang terlalu besar akan mengakibatkan *losses* yang cukup besar.

Bidirectional converter memiliki 2 mode operasi dan 1 mode perintah memutuskan aliran daya, yaitu mode *charging*, mode *discharging*, dan mode *off*. Algoritma dari ketiga mode tersebut ditunjukkan oleh Gambar 11. Pola



Gambar 11. Algoritma control bidirectional converter

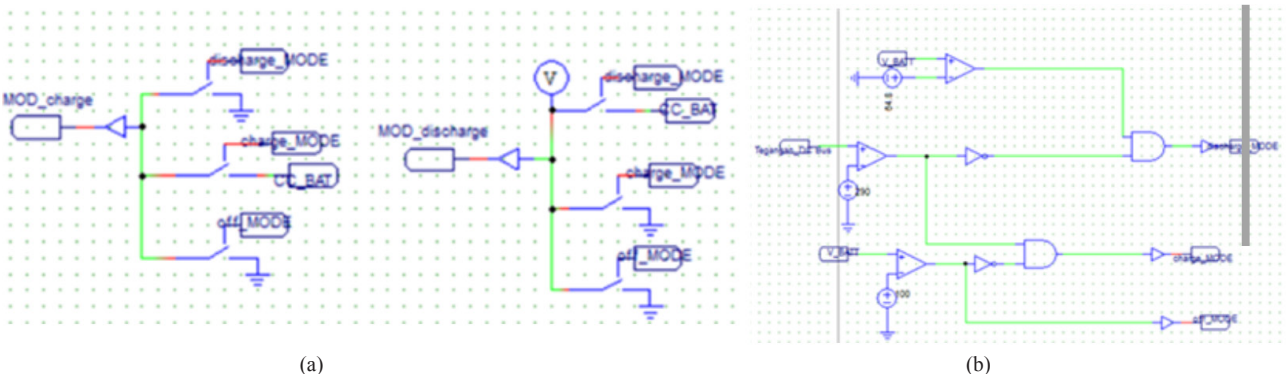
switching dari S1 dan S2 ditunjukkan oleh Gambar 12. Mode *Charging* ataupun *discharging* sama-sama menggunakan

Tabel 1. Parameter modul PV

Short Circuit Current (ISC)	25,44 A
Open Circuit Voltage (Voc)	66 V
Voltage at maximum power point (Vmpp)	52,49 V
Current at maximum power point (Impp)	24,01 A
Maximum Power (Pmax)	1260,16 W
Series Resistance (Rs)	0,006988 Ω
Parallel Resistance (Rp)	415,405 Ω
Ideality Factor	1,3
Temperature Reference	25 $^{\circ}\text{C}$
Jumlah Cell	72

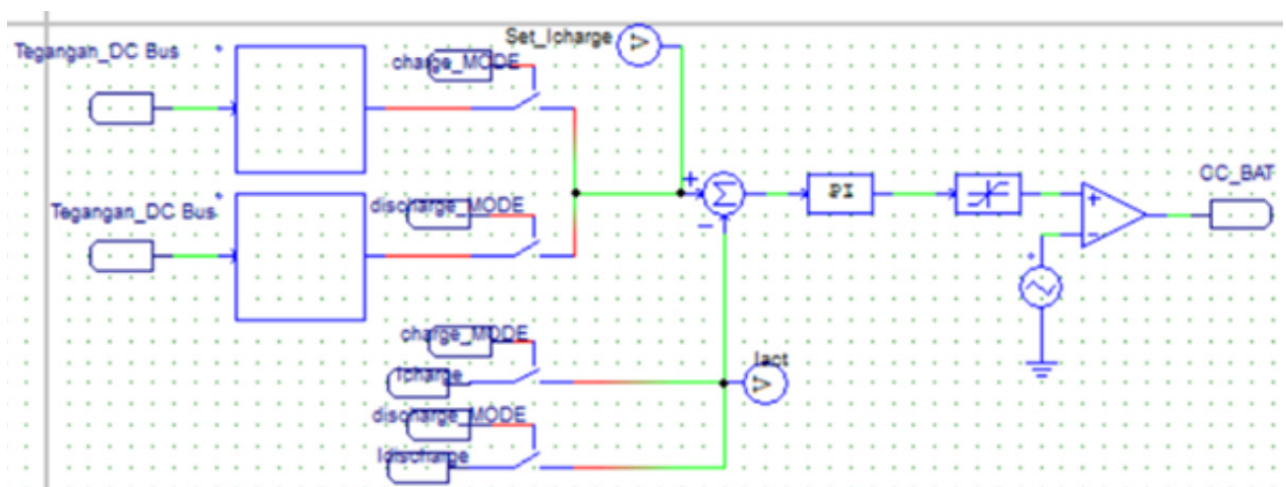
Tabel 2. Parameter baterai

Parameter Baterai	
Nominal Voltage	86.4 V
Rated Capacity	128 Ah
SOC %	70%
No of Series	1
No of Parallel	4
Fully Charged Voltage	100,5685 V
Cut Off Voltage	64,8 V



(a)

(b)



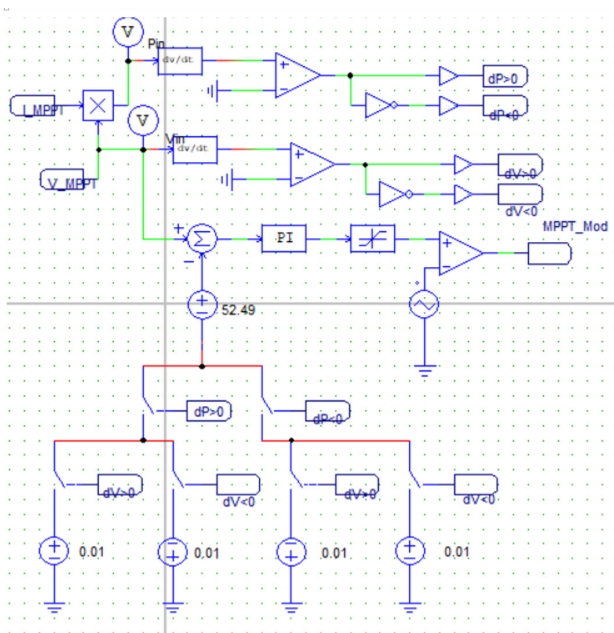
(c)

Gambar 12. Pola *switching* S1 dan S2 pada 2 mode bidirectional

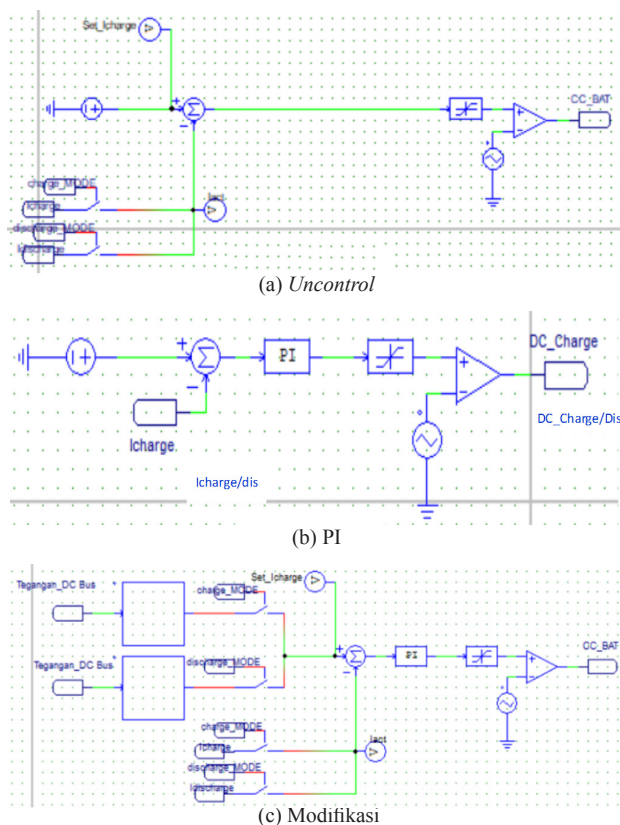
control arus yakni menggunakan arus sebagai *feedback* dan referensi.

Penelitian ini menggunakan baterai dengan karakteristik seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2. Baterai memiliki tegangan maksimum pengisian 100,5685 V, Sehingga Baterai akan berhenti *charging* saat tegangan 100 V.

Skema MPPT P & O pada penelitian ini ditunjukkan oleh Gambar 13. MPPT dan Control DC Bus akan bekerja secara bergantian. Algoritma untuk menentukan kondisi



Gambar 13. MPPT P & O



Gambar 14. Pemodelan teknik *control* dc bus

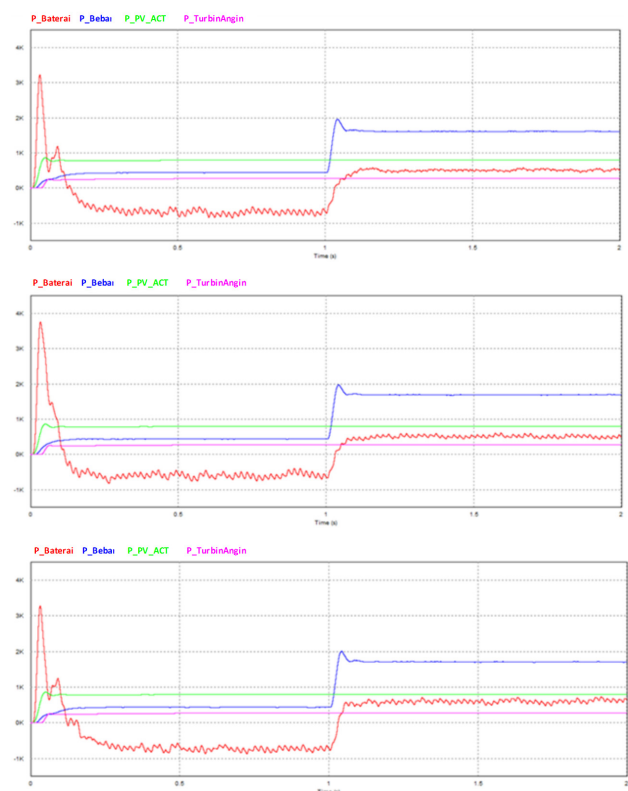
dimana mode MPPT atau mode kontrol DC Bus yang akan bekerja ditunjukkan oleh Gambar 14. Apabila baterai sudah mencapai *fully charged*, maka *bidirectional* akan *off* sehingga mode *boost converter* akan beralih ke control DC Bus untuk tetap dapat mempertahankan tegangan DC Bus bernilai 314 V. Pada mode Control DC Bus P_{Gen} yang awalnya dalam kondisi maksimum akan dipaksa turun sama dengan daya beban sehingga tegangan DC Bus akan terjaga pada nilai toleransi yang diizinkan.

Gambar 14 merupakan kategori pemodelan yang dilakukan guna mendapatkan hasil daya dan tegangan yang optimum. Dari ketiga pemodelan di atas di dapatkan hasil yang optimum menggunakan pemodelan PI dengan modifikasi. Gambar 15 menampilkan hasil dari keadaan simulasi

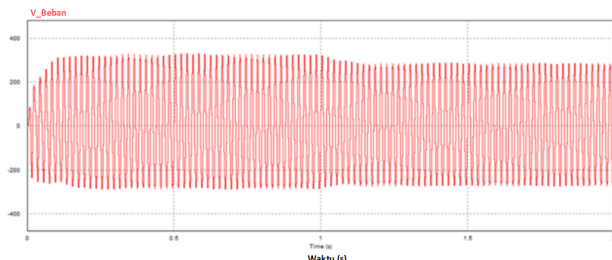
Pada Gambar 15. mensimulasikan kedalam 2 kondisi, kondisi pertama yakni saat P_{load} 442.8 kurang dari P_{gen} yakni 1071.7 sehingga baterai kondisi *charging*. Kemudian saat $t=1s$ kondisi berubah menjadi P_{load} 1616 lebih besar dari P_{gen} sehingga baterai *discharging*. Kondisi ini menunjukkan keseimbangan daya beban dan daya pembangkitan pada ketiga model kontrol. Terdapat perbedaan pada tegangan AC yang dihasilkan dari masing-masing control seperti ditunjukkan pada Gambar 16.

Gambar 17. Menunjukkan kondisi setelah $t=1s$ beban diperbesar melebihi kapasitas pembangkitan, saat itu terjadi perubahan pola dari baterai menjadi *discharging*. Pada beberapa *cycle* berikutnya V_{maks} akan berosilasi seperti Gambar 18.

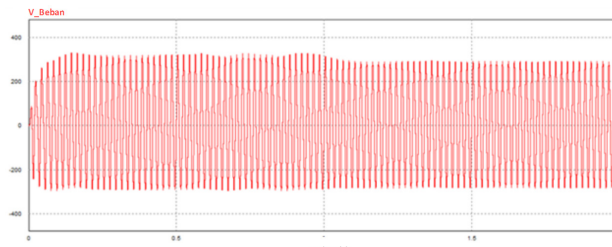
Berdasarkan Gambar 18. Sistem tanpa kontrol osilasi terendah dari V_{maks} berada pada nilai 283,0 V. Nilai tersebut di bawah batas yang diizinkan Kondisi PI osilasi



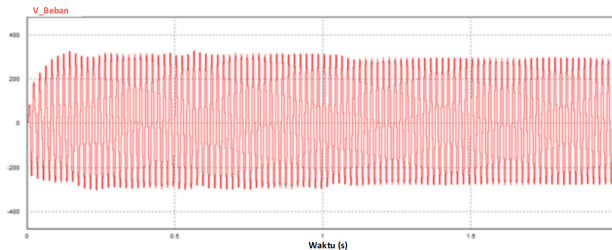
Gambar 15. Keadaan Simulasi



(a) Uncontrol

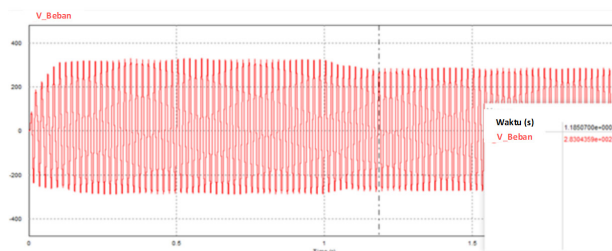


(b) PI

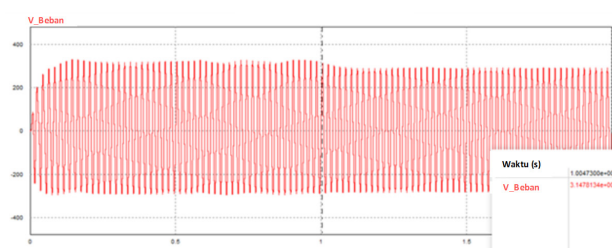


(c) Modifikasi

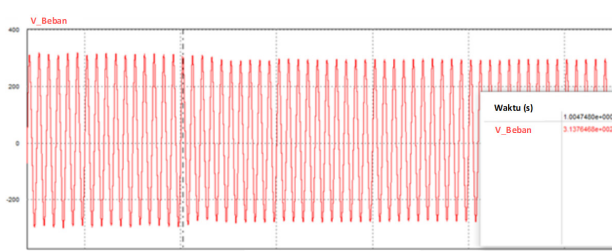
Gambar 16. Tegangan keluaran awal



(a) Uncontrol

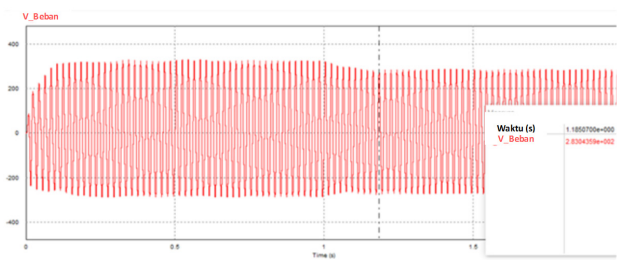


(b) PI

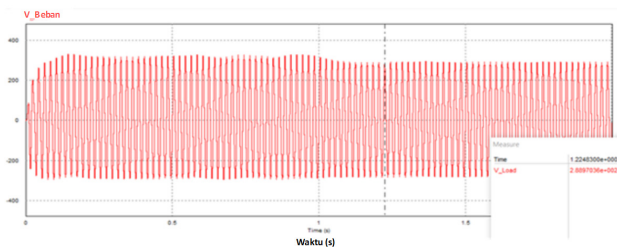


(c) Modifikasi

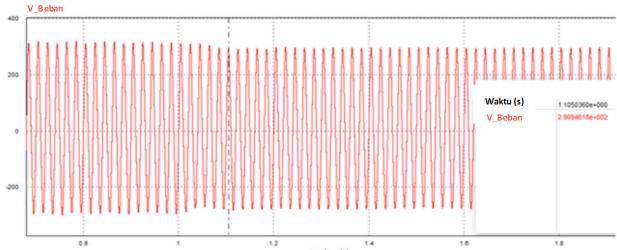
Gambar 17. Tegangan saat kondisi peralihan



(a) Uncontrol



(b) PI



(c) Modifikasi

Gambar 18. Saat beban melebihi kapasitas pembangkitan

terendah dari V_{maks} berada pada nilai 288,9 V. Nilai tersebut masih dalam batas yang diizinkan. Kondisi PI modifikasi osilasi terendah dari V_{maks} berada pada nilai 290,9 V. Nilai tersebut masih dalam batas yang diizinkan.

Gambar 19 menunjukkan kondisi steady state dimana pada sistem tanpa kontrol ada beberapa *cycle* memang nilai tegangan berada di atas toleransi yang diizinkan, tetapi pada beberapa *cycle* yang lain tegangan kembali turun sehingga Tegangan RMS total pada saat *discharge* berada sedikit di bawah batas toleransi. V_{maks} tertinggi tercatat pada nilai 287,5 V. Sistem PI pada saat $t = 1,26$ s Tegangan kembali stabil, dengan V_{maks} berada pada nilai 291,5 V sedangkan pada kontrol PI modifikasi saat $t = 1,2$ s tegangan kembali stabil dengan V_{maks} berada pada nilai 297,5 V.

V. KESIMPULAN

Hasil dari penelitian menunjukkan *power balance* antara daya sistem pada panel surya-turbin angin, dan baterai. *Balance* antara baterai dan beban sangat penting untuk menjaga agar tegangan beban sesuai dengan standar PLN yakni berada pada nilai toleransi +5% dan -10%.

REFERENCES

- [1] L. Xu, X. Ruan, C. Mao, B. Zhang, and Y. Luo, "An improved optimal sizing method for the wind-solar-battery hybrid power system," *IEEE Trans. Sustain. Energy*, vol. 4, no. 3, pp. 774–785, 2013.

- [2] S. Ananda, N. Lakshminarasamma, V. Radhakrishna, M. S. Srinivasan, P. Satyanarayana, and M. Sankaran, "Generic Lithium-ion battery model for energy balance estimation in spacecraft," *Proc. 2018 IEEE Int. Conf. Power Electron. Drives Energy Syst. PEDES 2018*, pp. 1–5, 2018.
- [3] K. C. Bae, S. C. Choi, J. H. Kim, C. Y. Won, and Y. C. Jung, "LiFePO₄ dynamic battery modeling for battery simulator," *Proc. IEEE Int. Conf. Ind. Technol.*, 2014, pp. 354–358.
- [4] Y. M. Mendi, "Flexible energy-saving solution: An assessment of energy storage systems for photovoltaics & benefits to the grid-connected systems," *EEEIC 2016 - Int. Conf. Environ. Electr. Eng.*, 2016.
- [5] A. H. Ranjbar, A. Banaei, A. Khoobroo, and B. Fahimi, "Online estimation of the state of charge in li-ion batteries using impulse response concept," *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 3, no. 1, pp. 360–367, 2012.
- [6] C. F. Abe, J. B. Dias, P. Poggi, and B. Pillot, "Combining identification and translation methods of the single-diode model to compute the average temperature of photovoltaic modules from the open-circuit voltage," *IEEE J. Photovoltaics*, vol. 9, no. 5, pp. 1398–1404, 2019.
- [7] F. Ding, P. Li, B. Huang, F. Gao, C. Ding, and C. Wang, "Modeling and simulation of grid-connected hybrid photovoltaic/battery distributed generation system," 2010 China Int. Conf. Electr. Distrib. CISED, 2010, pp. 1–10.
- [8] S. Almazrouei and A. Hamid, "Energy management for large-scale grid connected pv-batteries system," 2017 Int. Renew. Sustain. Energy Conf., 2017, pp. 1–5.
- [9] D. T. Cotfas, P. A. Cotfas, C. Samoa, and D. Ursutiu, "Energy balance for different positions of photovoltaic panels," 2012 9th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV), 2012, pp. 12–15.
- [10] K. Plachta, "Autonomous tracking controller for photovoltaic systems using global positioning system," 2018 IEEE Int. Conf. Environ. Electr. Eng. 2018 IEEE Ind. Commer. Power Syst. Eur. (EEEIC / I&CPS Europe), 2018, pp. 1–5.